

С.О. Астапчик, акад.

Фізико-технічний інститут НАН Білорусі

Г.Є. Ретюхін, гол.фахівець

НВООО «Прецизійні технологічні системи» концерну «Плапар»

ЛАЗЕРНЕ РІЗАННЯ І РОЗМІРНА ОБРОБКА НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ (КРЕМНІЙ, АЛЮМООКСИДНА КЕРАМІКА, АЛМАЗ, КУБІЧНИЙ НІТРИД БОРУ) ВИПРОМІНЮВАННЯМ КВАЗІБЕЗПЕРЕРВНОГО Nd:YAG-ЛАЗЕРА

Наведено приклади лазерної обробки деяких крихких матеріалів: скрайбування кремнієвих пластин, розрізання ювелірних алмазів, формування профільних каналів у алмазних фільтрах, обробка каналу рубінового мікрозварювального інструмента, різання алюмооксидної кераміки, кубічного нітриду бору. Подано фотографії матеріалів, оброблених випромінюванням квазібезперервного Nd:YAG-лазера з модульованою добротністю (Nd:YAG-лазер, Q-switch) на установці лазерної обробки „ЭМ 250”. Відзначається більш висока якість різання алмазу і кераміки у порівнянні з різанням кубічного нітриду бору.

Підвищення вимог до розмірної обробки крихких напівпровідникових, керамічних і надтвердих матеріалів відкриває нове застосування лазера як інструмента прецизійної розмірної обробки в різних галузях промисловості, тому що традиційні методи механічної обробки надтвердих матеріалів в окремих випадках принципово неможливі. Як приклади лазерної розмірної обробки можна навести наскрізне різання по довільному контуру, свердлування та точіння (обробка тіл обертання), скрайбування (надрізання з наступним механічним доламуванням). До основних вимог лазерної розмірної обробки матеріалів відносяться точність одержуваних розмірів, чистоту поверхні обробки (стіжки різ), мінімальну дефектну зону на оброблюваній поверхні.

Скрайбування кремнієвих пластин

Найбільш розповсюдженим застосуванням квазібезперервного випромінювання у виробництві напівпровідникових приладів мікроелектроніки є лазерне скрайбування кремнієвих пластин. При впливі на пластину імпульсом сфокусованого лазерного випромінювання високої щільності потужності на поверхні напівпровідникової пластини утворюється лунка. Часткові перекриття лунок внаслідок переміщення пластини відносно випромінювання утворюють скрайберний розріз. Режим акустооптичної модуляції добротності лазерного випромінювання забезпечує одержання значних величин пікової потужності, що у поєднанні з невеликою тривалістю (приблизно 150 нс) і високою частотою проходження імпульсів (до 50 кГц) дозволяє одержати якісний скрайберний розріз на швидкостях близько 600 мм/с. Для цієї мети в технологічному устаткуванні для лазерного скрайбування використовуються високошвидкісні системи позиціонування. Найкраще зарекомендували себе позиціонери на лінійному кроковому двигуні. Сучасне технологічне устаткування для лазерного скрайбування базується на високошвидкісних системах позиціонування із зворотним зв'язком по швидкості й положенню.

На початку 90-х років провідне місце у виробництві лазерних скрайберів за кордоном посідали американські фірми Quantronix, Electroglass, Electro Scientific Industries. В електронній промисловості активно впроваджувався потіснений лазерне скрайбування метод поділу напівпровідникових пластин на кристали надтонкими алмазними дисками. Однак залишилися деякі типи напівпровідникових приладів і технологічні процеси, при яких застосування дискового різання ускладнено, наприклад, при поділі пластин діаметрів 75–100 мм на кристали 0,4×0,4 мм при товщині пластини 200–250 мкм і ширині розділових доріжок ≤ 40 мкм (на НПО «Інтеграл», УП «Завод Цветотрон» (Брест), низці підприємств Росії, Китаю тощо). При лазерному скрайбуванні пластини не піддається механічним впливам, тому процес має певні переваги, особливо при обробці пластин, що містять високі залишкові механічні напруження.

Фотографія скрайберних розрізів на кремнієвій пластині подана на рис. 1. Як джерело випромінювання використовувався високостабільний квазібезперервний Nd:YAG-лазер, який генерує TEM₀₀-випромінювання ($P_{cp} = 30$ Вт).

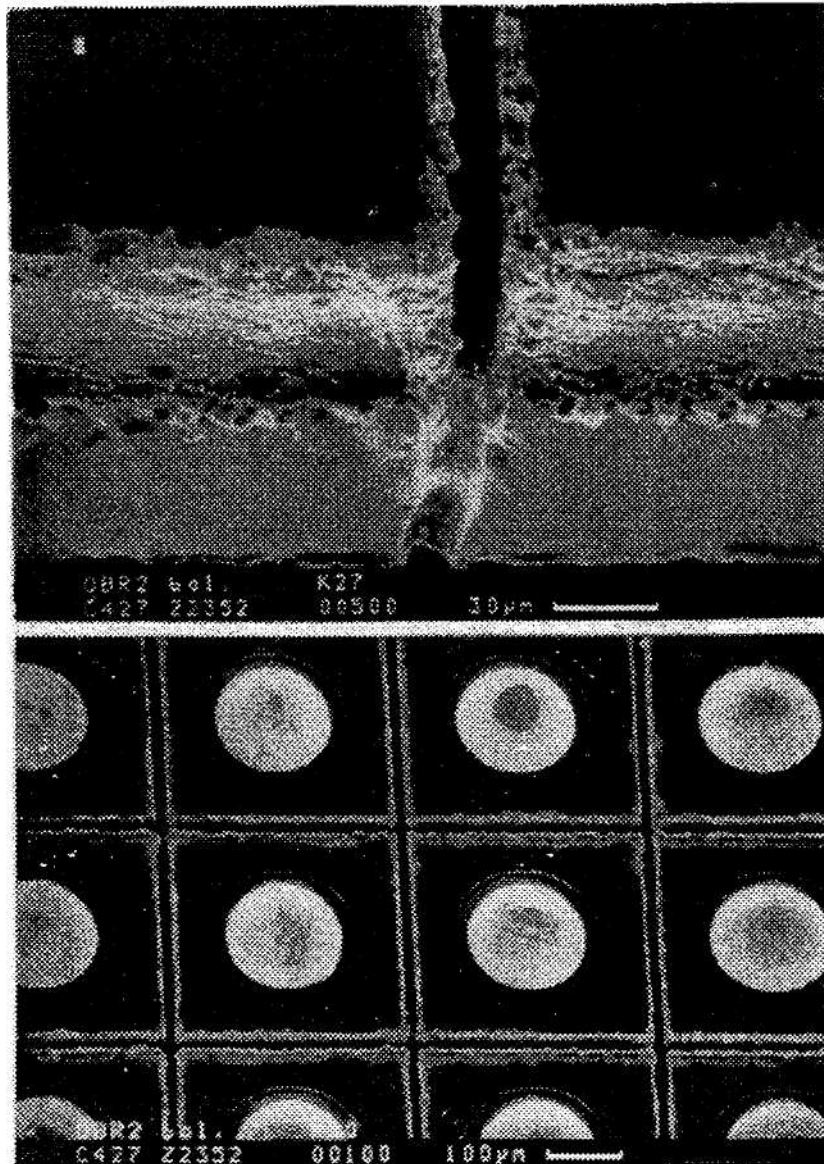


Рис. 1. Скрайберні розрізи на кремнієвій пластині (знизу) та профіль розрізу (зверху)

Розмірна обробка алмазу

В аспекті застосування даного типу лазера для розмірної обробки алмазу слід зазначити можливість використання його як для розрізання та обточування заготовок ювелірних алмазів, так і для обробки технічних алмазів і надтвердих матеріалів на їхній основі. В основу технологічної моделі лазерного різання (розпилювання) та обточування алмазної заготовки покладений спосіб пошарового видалення матеріалу під впливом сфокусованого випромінювання у поєднанні з просторовим переміщенням оброблюваної заготовки відносно лазерного променя [1]. Лазерне точіння здійснюється з використанням даних комп'ютерного моделювання поверхонь оброблюваної заготовки і форм обробки (точіння). Застосування лазерного точіння з комп'ютерним моделюванням оброблюваних форм дозволяє оператору шляхом вибору різних форм і типів огранювання визначити оптимальні форму та розміри майбутнього діаманта, виходячи з форми і розмірів конкретної алмазної заготовки. Лазерне розрізання алмазу не вимагає прив'язки до площин спайності матеріалу і тому може здійснюватися у будь-яких напрямках в умовах, коли механічне розрізання неможливе. Як приклад застосування квазібезперервного Nd:YAG-лазера для розмірної обробки алмазу на рис. 2 наведені фотографії заготовки алмазота (одна з модифікацій штучного алмазу) до лазерного точіння (рис. 2, а), після нього (рис. 2, б) та після огранювання (рис. 2, в).

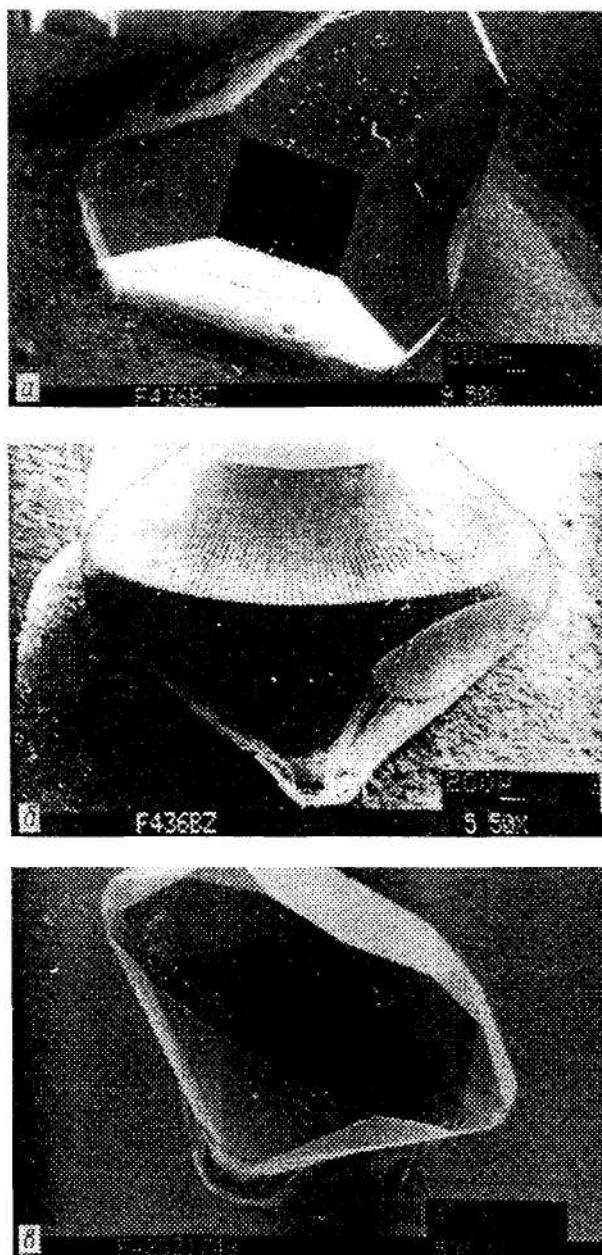


Рис. 2. Заготовки алмаза до (а) і після (б) лазерного точіння, після огранювання (в)

Дуже ефективно може використовуватися даний тип лазера і для формування профільного каналу в заготовках алмазних фільтрів (волоках). В основу технологічної моделі формування профільних каналів волоочильного інструмента покладений спосіб утворення форми лазерним променем, при якому під час обробки маніпулюють деталлю, що обертається, компенсуючи при цьому зміщення фокуса лазерного променя, отримане при розвороті по куту, відносно його останнього положення на деталі. Основні ідеї та суть способу розкриваються в [2]–[5]. Отримані лазерною обробкою на прецизійному автоматичному устаткуванні точність розмірів профільного каналу та чистота обробленої лазером поверхні алмазу часто дозволяють виключати операцію механічного шліфування каналу і проводити після лазерної обробки лише його полірування. Наведено фотографії заготовки алмазної фільтри в оправі з отриманим лазерною обробкою профільним каналом (рис. 3, а) і входної частини профільного каналу в заготовці синтетичного полікристалічного алмазу (рис. 3, б). Діаметр перстинки каналу в даній заготовці приблизно 80 мкм.

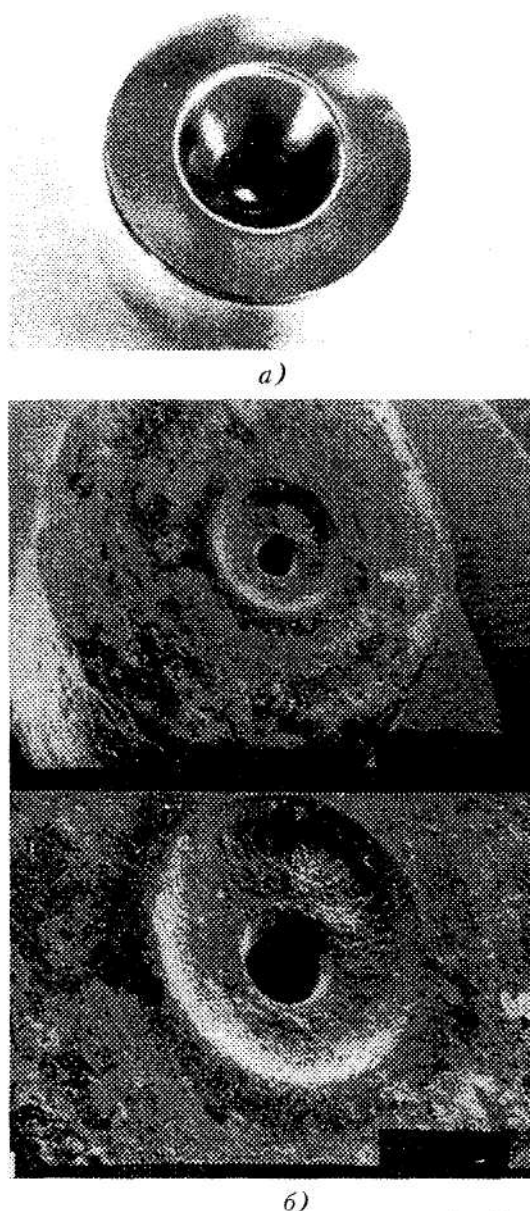


Рис. 3. Вид входної частини отриманого лазерною обробкою профільного каналу:
 а) в алмазній фільтрі з оправою (x2,4);
 б) у заготовці синтетичного полікристалічного алмазу (x50 і 100)

Свердлування каналу рубінового інструмента

При виробництві інтегральних мікросхем для приєднання виводів на контактні площадки чіпа використовуються прецизійні високошвидкісні автоматичні установки мікрозварювання. Як інструмент для мікрозварювання в установках застосовується рубіновий стрижень, всередині якого сформовано мікроканал для розміщення тонкого золотого дроту, використовуваного при мікрозварюванні. Формування мікроканалу при виготовленні мікрозварювального інструмента здійснюється механічним шліфуванням з алмазною пастою. Серйозні труднощі виникають при формуванні конусної поверхні після свердлування кільцевою фрезою циліндричної частини каналу. Після обробки кільцевою фрезою в матеріалі (в центрі циліндра) залишається невибрана частина – «керн». Для формування конуса під циліндром обробку доводиться починати з «керна», що призводить до відхилення шліфувального інструмента (голки) від осі рубінового стрижня і, як наслідок, – до перекручування створюваного профільного каналу. Проблема вирішується за допомогою лазерної обробки. Конусна поверхня формується лазером співвісно до базової поверхні (зовнішньої циліндричної поверхні стрижня). Після формування конусної поверхні лазером подальше доведення профілю каналу проводиться механічним шляхом.

Різання алюмооксидної кераміки

Зазвичай для обробки кераміки використовують абразивний інструмент. Але для деяких задач в електронній промисловості (зокрема, для різання і скрайбування підкладок з алюмооксидної кераміки) застосовується квазібезперервний Nd:YAG-лазер [6]. Оптимізація лазерної обробки забезпечується завдяки точному підбору параметрів технологічного процесу. Лазерна обробка дозволяє одержати високу якість поверхні розрізу, не завжди досяжну механічним абразивним інструментом, особливо у місцях складних геометричних переходів. Підтвердженням якості лазерної обробки може служити висока міцність на розрив обробленої лазером поверхні.

У [1] наведено опис технологічної моделі різання випромінюванням квазібезперервного Nd:YAG-лазера. Сутність моделі полягає в пошаровому видаленні матеріалу із зони різання. Типове значення швидкості переміщення заготовки відносно променя при обробці матеріалів на лазерних установках „ЭМ-250” складає 5–10 мм/с. У цілому продуктивність розрізання невисока. Так, наприклад, час формування міліметрового отвору в пластині товщиною 0,65 мм складає близько 30 с, але пошарове розрізання за алгоритмом даної моделі у порівнянні з іншими способами лазерного розрізання дозволяє забезпечити високу якість розрізу з пористістю в одиниці мікрметрів. Фотографії різів, виконаних у керамічній пластині на установці лазерної обробки „ЭМ-250”, подані на рис. 4.

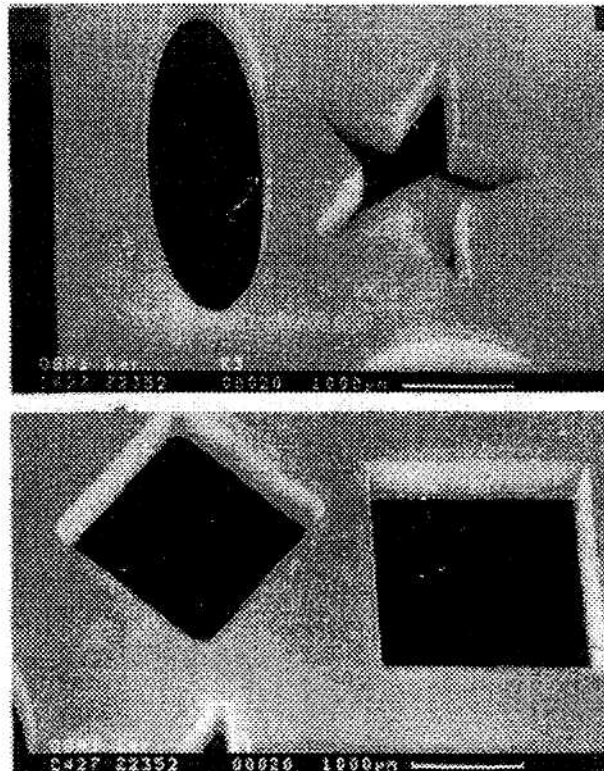


Рис. 4. Розрізи в керамічній пластині, виконані на установці лазерної обробки „ЭМ-250”

Розрізання кубічного нітриду бору

На відміну від перерахованих вище матеріалів різання кубічного нітриду бору випромінюванням квазібезперервного Nd:YAG-лазера з модульованою добротністю стикається з певними труднощами. Основними параметрами цього матеріалу, що погіршують якість лазерного розрізання, є низький коефіцієнт поглинання випромінювання довжиною хвилі $\lambda = 1064$ нм і висока температура плавлення. Низький коефіцієнт поглинання призводить до об'ємного поглинання випромінювання, що сприяє утворенню значної дефектної зони у вигляді мікротріщин. Висока температура плавлення різко знижує продуктивність лазерної обробки. Це пов'язано з тим, що продукти деструкції матеріалу, які утворюються при впливі сфокусованого випромінювання містять значну частину рідкої фази, що швидко

застигає, утворюючи шлак. Останній осідає на стінках розрізу та утворює субстанцію, зовні схожу на павутину. Ця шлакова субстанція, розташовуючись всередині розрізу вище фокуса випромінювання, розсіює випромінювання, робить неможливим його фокусування на оброблюваній поверхні. Продування розрізу повітрям не дає результату, тому що розріз не є наскрізним і ширина його мала. Для видалення такої «павутини» розрізання проводилося з періодичним фокусуванням випромінювання на верхню вже сформовану частину розрізу, що значно знижувало продуктивність і якість процесу. Шорсткість поверхні стінок розрізу значно вища у порівнянні з шорсткістю, одержуваною при обробці алмазу та алюмооксидної кераміки.

Таким чином, короткий виклад прикладів прецизійної лазерної обробки (скрайбування, вирізання по складному геометричному контуру, свердлування профільних каналів, обточування та огранювання алмазу та його похідних) показують переваги лазерного променя у порівнянні з механічним інструментом. Переміщенням світлового променя легко керувати при будь-якому контурі, він являє собою надійний інструмент і в більшості випадків є єдиною можливим способом обробки прецизійних виробів із надтвердих матеріалів. Правильний вибір просторово-часових параметрів лазерного випромінювання і технологічної моделі процесу забезпечує прийнятну продуктивність при надійності та якості обробки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ретюхин Г.Е., Коцеев А.Г., Фаил И.В., Шеринев Е.Б. // Весті НАН Беларусі / Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 1. – С. 73–77.
2. Ретюхин Г.Е., Астапчик С.А. // Весті НАН Беларусі / Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2000. № 3. – С. 54–60.
3. А.с. № 1202174 А В 23 К 26/00.
4. А.с. № 1429468 А1 В 23 К 26/00.
5. А.с. № 1727303 А2 В 23 К 26/00.
6. Ретюхин Г.Е., Караев А.Л. Весті НАН Беларусі / Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2000. – № 3. – С. 64–67.

АСТАПЧИК Станіслав Олександрович – академік, завідувач відділу Фізико-технічного інституту Національної академії наук Білорусі.

Наукові інтереси:

- металофізика;
- металообробка;
- лазерний та інші високоенергетичні впливи на матеріали.

РЕТЮХІН Георгій Євгенович – головний фахівець НВООО «Прецизійні технологічні системи» концерну «Планар».

Наукові інтереси:

- лазерна обробка та устаткування у прецизійному машинобудуванні.

Подано 12.08.2003